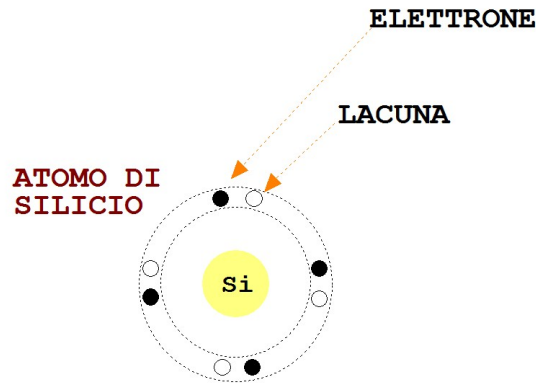


# GIUNZIONE P-N

## SEMICONDUTTORI PURI

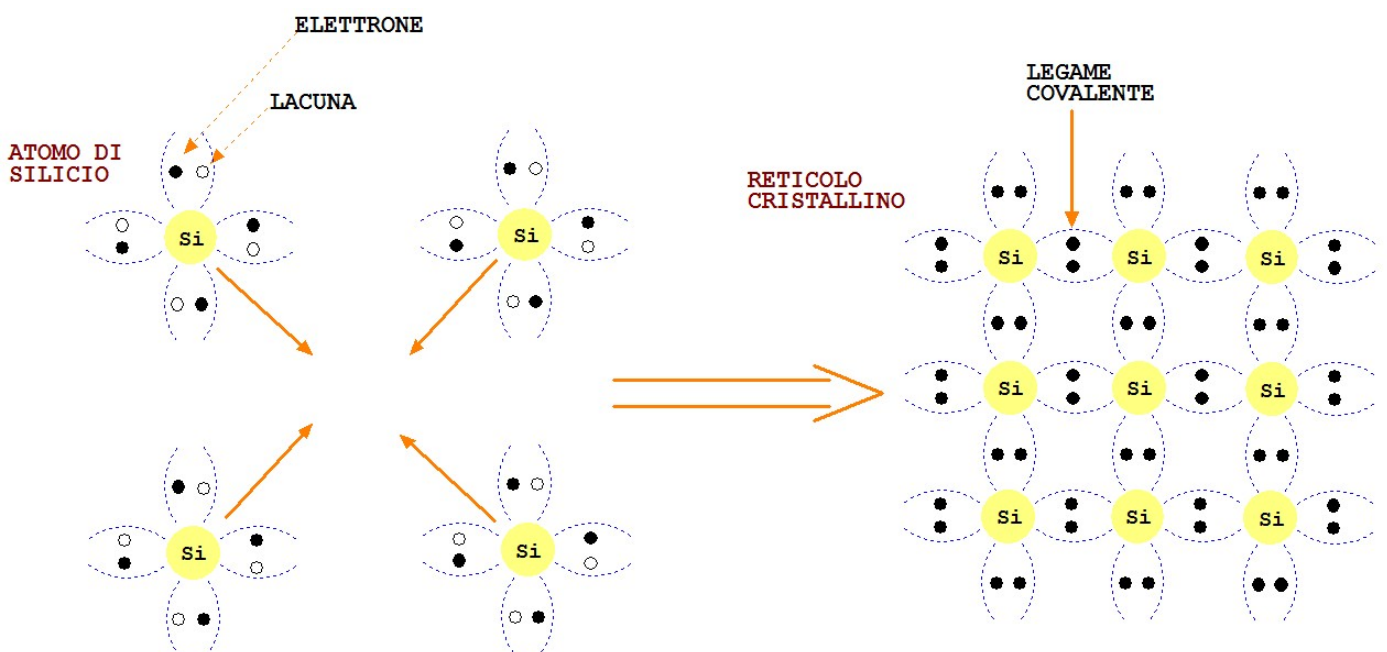
Sia il germanio che il silicio sono elementi tetravalenti in quanto presentano 4 elettroni nell'orbita più esterna chiamati **"elettroni di valenza"**. L'orbita può contenere al massimo 8 elettroni, possiamo perciò immaginare l'orbita esterna semivuota con 4 elettroni e 4 possibili spazi che definiremo **LACUNE**.



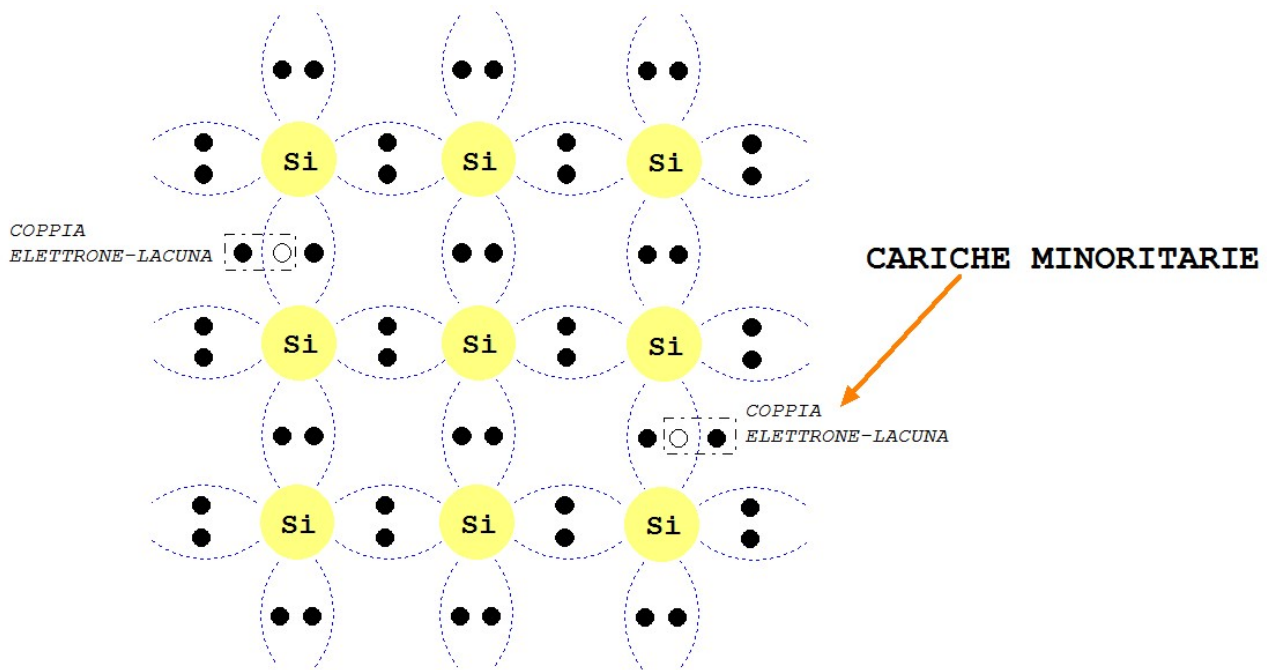
Gli atomi condividono i 4 elettroni esterni realizzando un **"legame covalente"**, molto difficile da rompere, creando così un reticolo cristallino.

La struttura cristallina del silicio o del germanio è simile a quella del diamante, dove ogni atomo è interessato da 4 legami covalenti con gli atomi vicini, secondo una configurazione tridimensionale di un tetraedro che si ripete in maniera regolare. Per semplicità raffigureremo la struttura cristallina in modo bidimensionale.

Pertanto gli atomi di silicio vanno a realizzare una struttura reticolare come nella figura seguente, dove le lacune (spazi disponibili) sull'orbita esterna dell'atomo, vengono colmate dagli elettroni vicini. Bisogna ricordarsi sempre che **sia il singolo atomo che la struttura cristallina sono elettricamente neutri**, in quanto nel nucleo c'è un numero di protoni equivalente agli elettroni presenti negli orbitali.



In un legame covalente come quello del silicio non ci sono cariche libere, gli elettroni di valenza non sono liberi, a meno che non venga fornita energia termica che possa rompere questi legami covalenti. Anche la temperatura ambiente è in grado di rompere qualche legame, perciò in un reticolo cristallino a temperatura ambiente ci sono delle cariche libere costituite da coppie elettrone-lacuna. Queste cariche vengono definite **minoritarie** e la corrente che si manifesta in un semiconduttore puro si chiama “**conduzione intrinseca**” ed è funzione della temperatura.



## SEMICONDUTTORI DROGATI

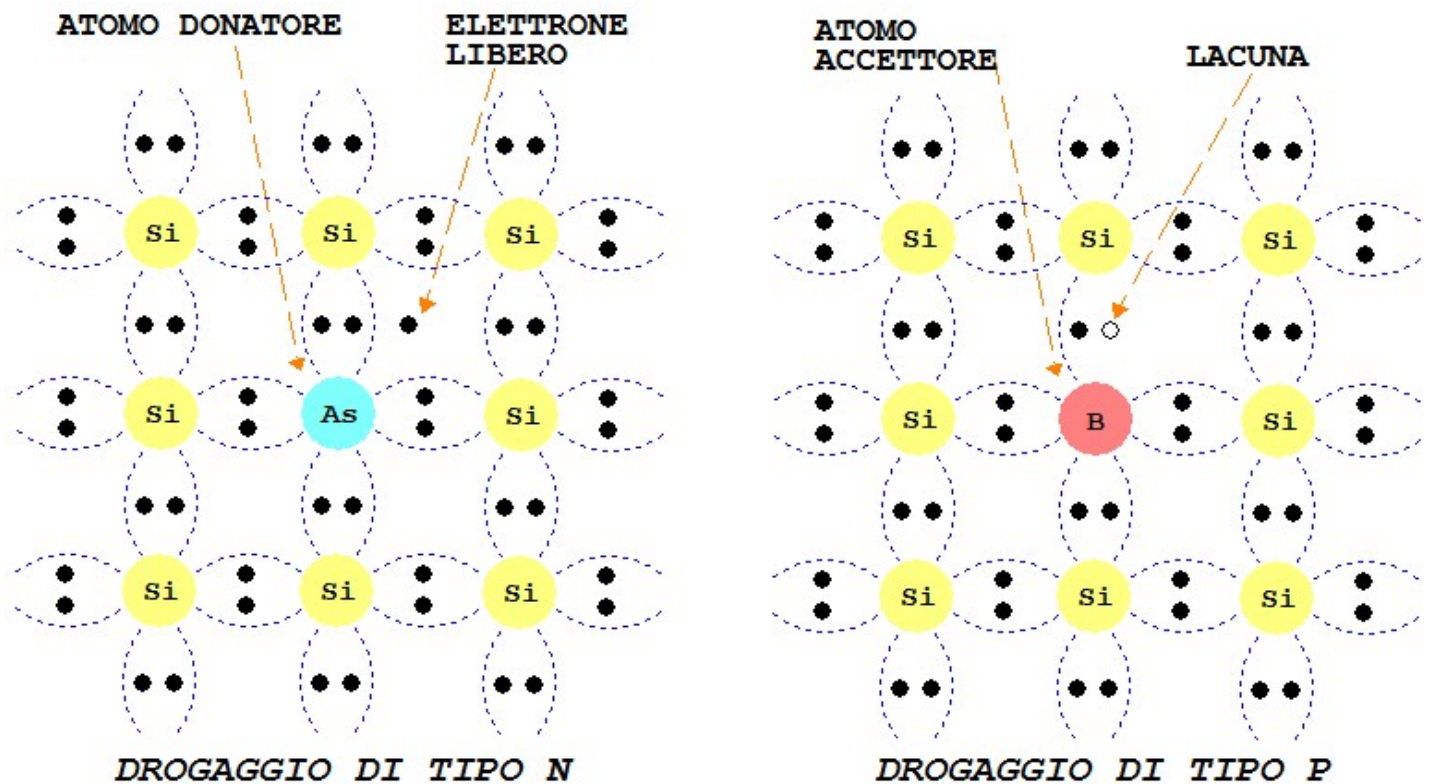
Per arricchire la conducibilità nei semiconduttori, occorre accrescere il numero delle cariche mobili siano esse elettroni o lacune.

E' possibile fare ciò immettendo nel materiale base, quantità infinitesimali di elementi aventi struttura atomica diversa, trivalenti o pentavalenti.

Nel caso di impurità **trivalenti** si parla di **drogaggio di tipo P**, nel caso di impurità **pentavalenti** di **drogaggio di tipo N**.

In entrambi i casi la conducibilità aumenta per effetto della presenza di più lacune libere (nel primo caso) o di elettroni liberi (nel secondo caso).

In entrambi i casi il semiconduttore drogato si mantiene **eletttricamente neutro**.



In un semiconduttore drogato le cariche mobili sono di due tipi:

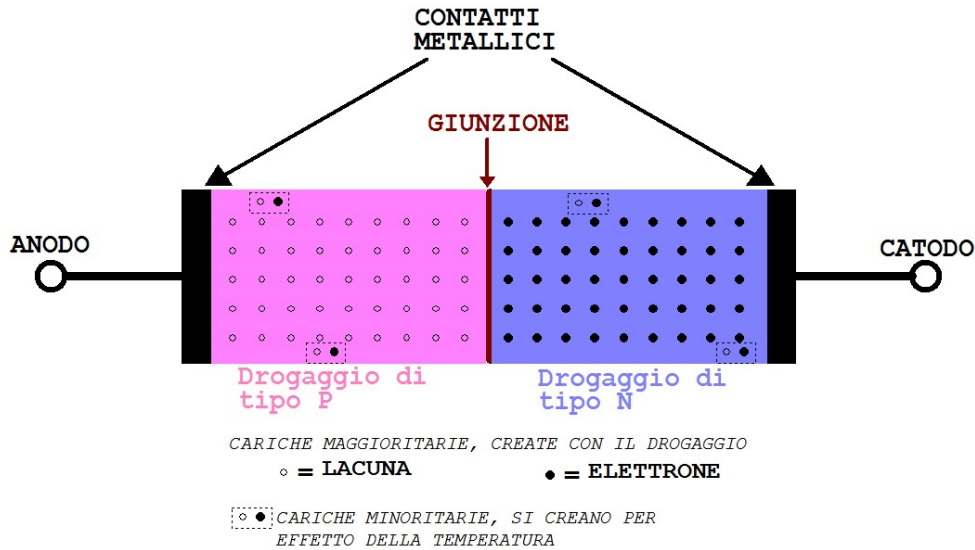
- ✓ le **minoritarie**, cioè quelle che si creano per effetto della rottura di qualche legame covalente per la **temperatura**, e che creano perciò una coppia elettrone-lacuna
- ✓ le **maggioritarie**, cioè quelle **introdotte** con le impurità di tipo N o di tipo P.

La conduzione che si manifesta per effetto delle cariche **minoritarie**, si chiama "**intrinseca**".

La conduzione che si manifesta per effetto delle cariche **maggioritarie**, si chiama "**estrinseca**".

## GIUNZIONE P-N

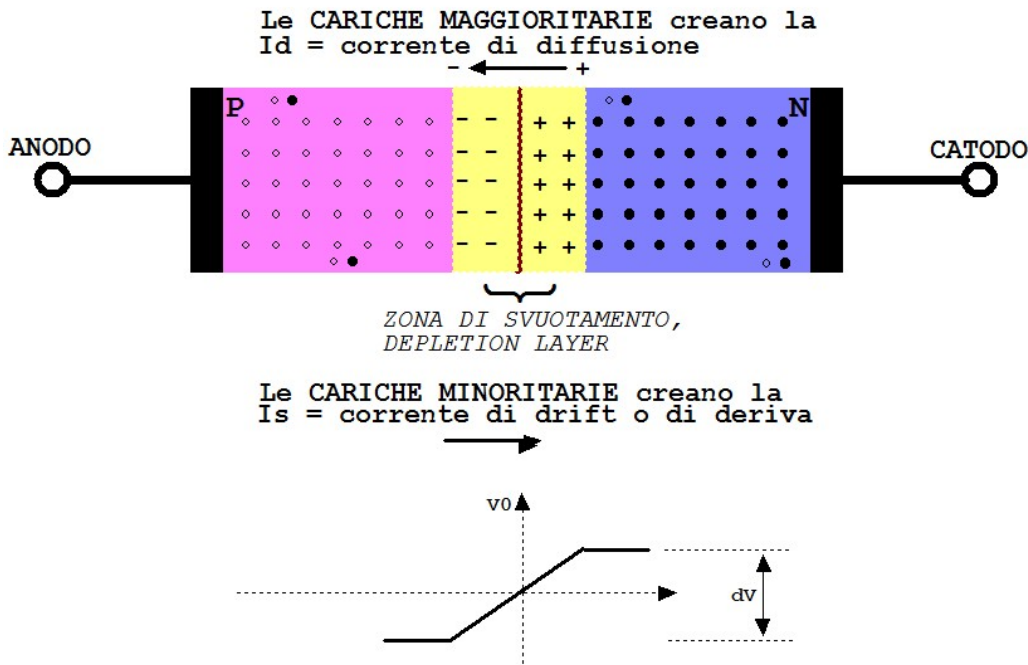
Consideriamo una barretta di silicio drogata in maniera differente. Nella zona di tipo P (a sinistra) ci sono delle lacune libere, cioè atomi trivalententi che possono accettare altri elettroni. Nella zona di tipo N (a destra) ci sono elettroni liberi, creati dagli atomi pentavalenti. Queste cariche vengono definite **CARICHE MAGGIORITARIE**. Inoltre ci sono delle cariche libere sottoforma di coppie elettroni-lacuna, che si creano spontaneamente per effetto della temperatura definite **CARICHE MINORITARIE**.



Effettuando questo diverso drogaggio, avverrà che in prossimità della giunzione le lacune della zona di tipo P verranno colmate dagli elettroni liberi della zona di tipo N, con una “**corrente di diffusione**” che cesserà quando gli elettroni della zona di tipo N (a destra) verranno contrapposti dalla carica negativa che si è venuta a creare nella zona di tipo P (a sinistra).

La ricombinazione delle cariche al centro della giunzione, determina una zona chiamata “**zona di svuotamento o depletion layer**”. Ai capi di questa zona c'è una differenza di potenziale come indicato in figura che si oppone allo spostamento di ulteriori cariche maggioritarie.

Tale d.d.p agevola lo spostamento di cariche minoritarie da sinistra a destra, chiamato **corrente di drift o di deriva**, che coesisterà con la **corrente di diffusione** diretta in senso opposto, da destra a sinistra.



## POLARIZZAZIONE DIRETTA DI UNA GIUNZIONE P-N

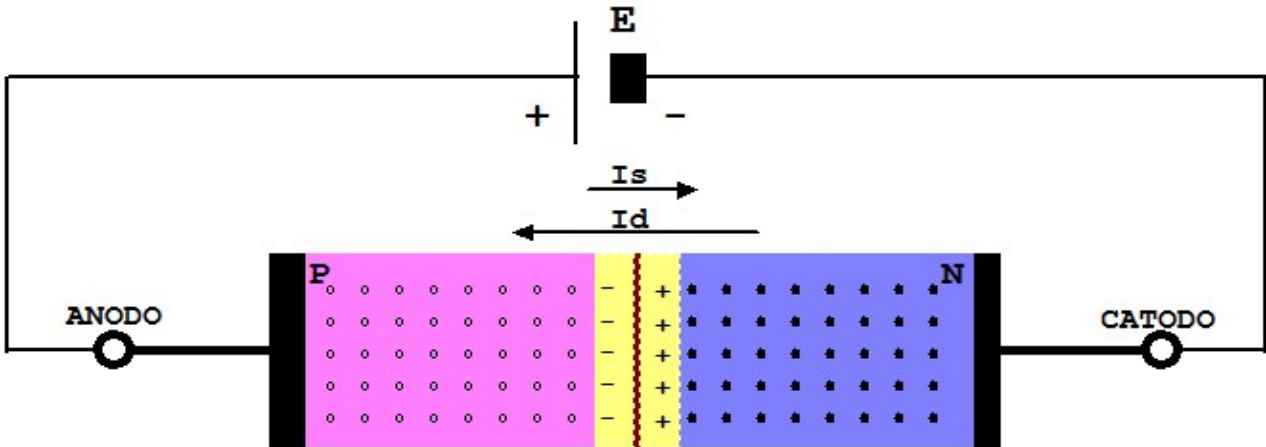
Collegando il polo positivo di un generatore sulla zona di tipo P e quello negativo sulla zona di tipo N, si ha una polarizzazione diretta della giunzione. Collegando il generatore in questo modo, si abbasserà il potenziale della zona N e di conseguenza si ridurrà la dimensione della zona di svuotamento sulla giunzione.

Ragionando a livello di cariche elettriche, possiamo immaginare che il polo positivo determina nella zona P, la rottura delle coppie elettrone-lacuna create a ridosso della giunzione, ed il polo negativo invece immette nella zona N altri elettroni liberi che vanno ad annullare la carica positiva presente in prossimità della giunzione.

In questo modo aumenta la corrente di diffusione e la zona di svuotamento si riduce perché il verso del generatore esterno è discorde alla differenza di potenziale interna alla giunzione.

La corrente prevalentemente di diffusione viene chiamata **corrente diretta**.

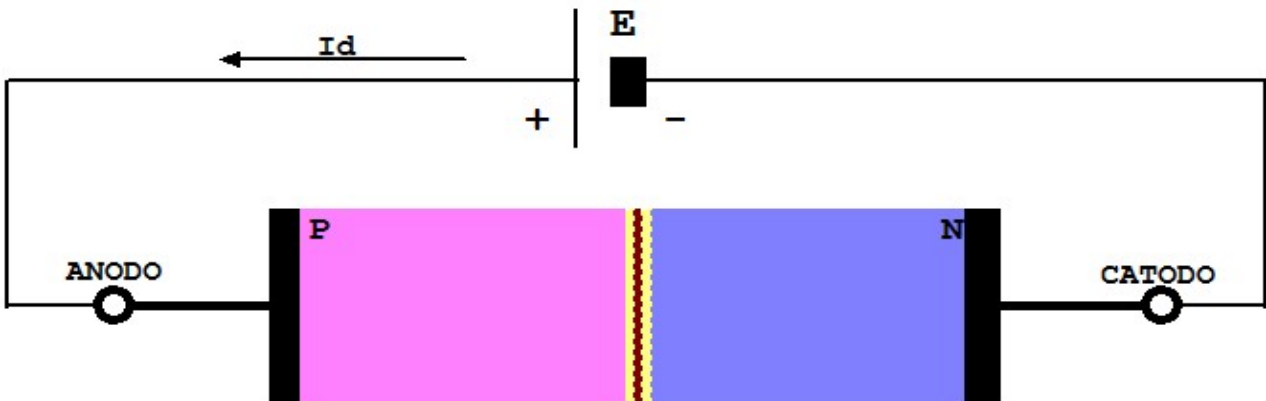
Quando la tensione esterna annulla completamente la tensione della zona di svuotamento, la corrente verrà limitata solo dal circuito esterno, in quanto non ci sarà alcun potenziale interno ad opporsi alla corrente di diffusione. La massima tensione applicabile direttamente non distruttiva è dell'ordine del Volt per il silicio e di qualche decimo di Volt per il germanio.



Aumentando la tensione  $E$  la zona di svuotamento si riduce.

La corrente predominante è quella di diffusione dovuta agli elettroni che passano dalla zona N alla zona P.

Indichiamo il verso della corrente convenzionale e cioè opposto al movimento degli elettroni. Indicheremo questa corrente sempre con  $I_d$  e la chiameremo **CORRENTE DIRETTA**



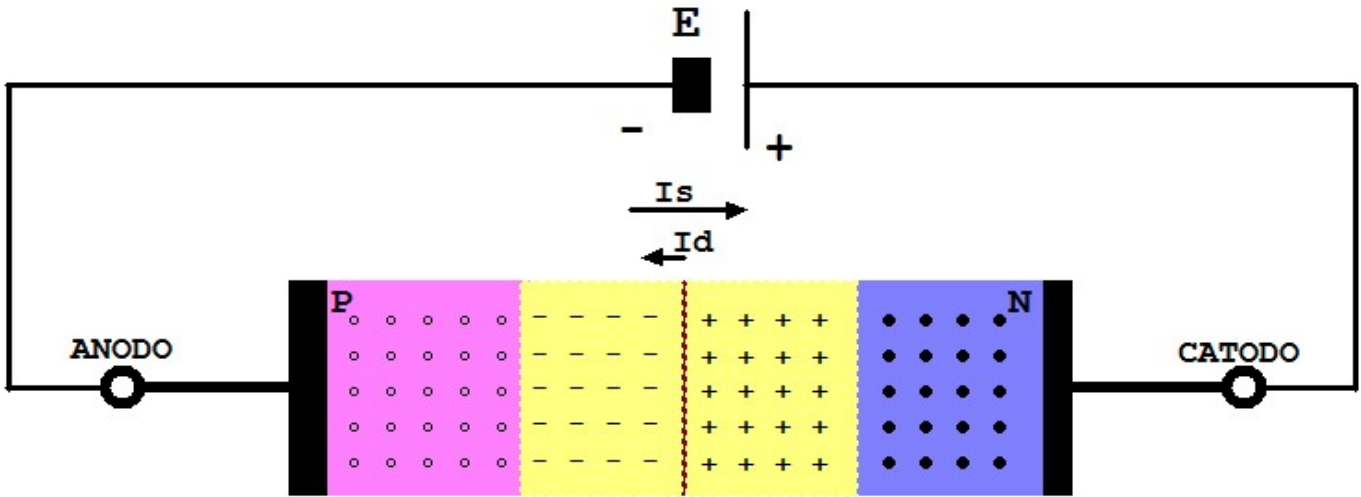
Perciò una polarizzazione diretta di una giunzione PN, causa una riduzione della zona di svuotamento e della sua barriera potenziale ( $dV$ ) la corrente di diffusione diventa molto più grande della corrente di drift ed essendoci una riduzione della barriera di potenziale non ci sarà più una limitazione della corrente, pertanto la giunzione si comporterà come un normale conduttore.

## POLARIZZAZIONE INVERSA DI UNA GIUNZIONE P-N

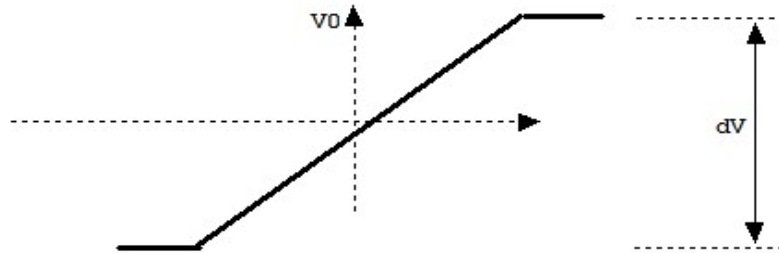
In questo caso la polarità sarà invertita e cioè il polo positivo sulla zona di tipo N, e quello negativo sulla zona di tipo P. Con questo collegamento avverrà esattamente l'opposto di quanto visto in precedenza, visto che il generatore alzerà il potenziale già presente tra la zona N e P.

La tensione esterna è concorde alla d.d.p. interna alla giunzione, le lacune della zona P verranno riempite dagli elettroni uscenti dal polo negativo aumentando le cariche positive nella zona P, e gli elettroni liberi della zona N verranno attratti dal polo positivo aumentando le cariche positive nella zona N. In questo modo la tensione della zona di svuotamento aumenterà e diminuirà la corrente di diffusione in quanto le cariche negative della zona N verranno ostacolate dal potenziale negativo maggiore formato sulla zona P.

La corrente di drift prevale in questo caso. Raggiungendo valori troppo elevati di tensione inversa si ha la rottura della giunzione.



Applicando una tensione in senso opposto, la zona di svuotamento si allarga e gli elettroni non riusciranno a passare dalla zona N alla zona P.



Polarizzando una giunzione PN inversamente, la zona di svuotamento si allarga ed aumenta a sua barriera di potenziale. In questo modo la corrente di diffusione si annullerà per effetto dell'aumento della barriera di potenziale. Non ci sarà corrente diretta ma solo una corrente di deriva che è molto piccola indipendente dalla tensione esterna ma legata solo alla temperatura.

In pratica in una giunzione PN, si ha circolazione di corrente a patto che ci sia una polarizzazione diretta, e che la tensione superi la d.d.p. della zona di svuotamento, in modo da sbilanciare le correnti di diffusione e di drift, rendendo la prima predominante sulla seconda. Il componente più noto che utilizza una giunzione PN si chiama **Diodo a giunzione**.

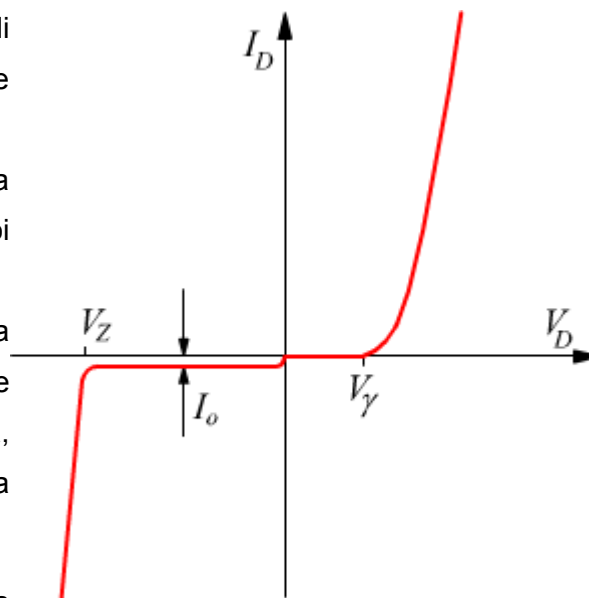
Quanto detto sopra si può riassumere nel seguente grafico che rappresenta la caratteristica del diodo, e cioè il legame tra la tensione presente ai capi del diodo e la corrente che lo attraversa.

Come si può notare dal grafico, per valori positivi di tensione tra l'anodo ed il catodo, oltrepassato un valore chiamato tensione di soglia, si ha flusso di corrente.

Infatti come visto sopra, aumentando la tensione la zona di svuotamento si restringe fino ad annullarsi, per poi consentire il passaggio della corrente.

Invece se il diodo viene polarizzato diversamente, la corrente sarà frutto solo della presenza di cariche minoritarie, e non dipenderà dalla tensione applicata, pertanto sarà costante. Questa corrente viene chiamata corrente di saturazione e viene indicata con  $I_0$  o con  $I_s$ .

All'aumentare della tensione inversa, si raggiunge la zona di breakdown (di rottura) indicata nel grafico con  $V_z$ .



(fonte edutecnica.it)

Analiticamente la formula che approssima la curva di figura è la seguente funzione esponenziale:

$$I_D = I_0 \cdot \left( e^{\frac{V_D}{V_t}} - 1 \right)$$

Dove  $I_0$  rappresenta la corrente di saturazione inversa del diodo e  $V_t$  la tensione termica del diodo, ricavabile con la seguente formula:

$$V_t = \frac{k \cdot T}{q}$$

$k$  = costante di Boltzmann  $1,3805 \cdot 10^{-23} \text{ J / } ^\circ\text{K}$

$T$  = temperatura in gradi Kelvin  $^\circ\text{K}$

$q$  = carica dell'elettrone  $1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$